

Article, Published Version

Vollmers, Hans

Probleme bei der praktischen Berechnung des Geschiebebetriebs

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102874>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Vollmers, Hans (1987): Probleme bei der praktischen Berechnung des Geschiebebetriebs. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 61. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 47-64.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

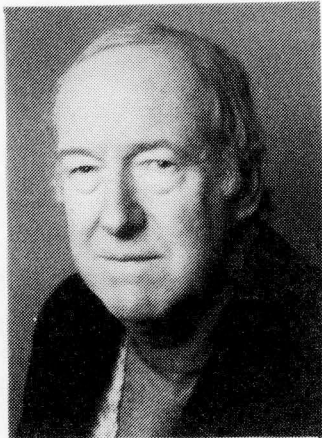
Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



PROBLEME BEI DER PRAKTISCHEN
BERECHNUNG DES GESCHIEBETRIEBS

Problems with the calculation of bed load



Hans-J. Vollmers, Dr.-Ing., Univ. Professor,
Lehrstuhl für Konstruktiven Wasserbau an der
UniBw München.

Geboren 1926, Studium des Bauingenieurwesens
an der TH/Uni Karlsruhe, von 1954 bis 1964
wiss. Assistent am Theodor-Rehbock-Flußbau-
laboratorium, dort Promotion über Probleme
der Verlandung von Hafenmündungen, 1964/65
NATO-Stipendiat am Lab. Nat. d'Hydraulique
Chatou in Frankreich, 1965 - 1977 in der
BAW, zunächst als Vertreter, ab 1968 Fach-
gruppenleiter "Wasserbauliches Versuchs-
wesen" bei der "Außenstelle Küste" in Ham-
burg, seit 1978 Professor an der UniBw
München in Neubiberg.

Veröffentlichungen u. a. über Fragestellun-
gen aus dem Gebiet des Feststofftransports,
der Anwendungsmöglichkeiten und der Technik
von wasserbaulichen Modellen mit bewegli-
cher Sohle sowie mathematischer Modelle zur
Berechnung von Tidenströmungen.

Inhaltsangabe

Die praktische Berechnung des Geschiebetriebs hängt nach wie vor wesentlich von der Verfügbarkeit von Daten und anderen Informationen aus der Natur ab. An zwei Beispielen wird gezeigt, wie man bei derartigen Fragestellungen vorgehen kann und welche Vereinfachungen man vornehmen muß, um Ergebnisse zu erhalten, die zumindest in der Größenordnung realistisch erscheinen. Erst dann lassen sich konstruktive, flußbauliche Maßnahmen entwickeln.

Summary

Up to now in practical cases the calculation of sediment transport processes depends on the availability of natural dates and other informations. Two examples demonstrate how to solve practical questions and what kind of simplifications are useful to obtain realistic results, concerning the order of magnitude. Only with this security it is possible to develop fluvial constructions in detail.

I N H A L T

	Seite
1 Einleitung	49
2 Allgemeine Bemerkungen zur Berechnung des Geschiebetransportes	50
3 Beispiele	51
3.1 Rio Pilcomayo (Bolivien)	51
3.2 Kieferbach	54
3.2.1 Allgemeines	54
3.2.2 Grundsätzliche Überlegungen	55
3.2.3 Beginn des Geschiebetriebes	57
3.2.4 Berechnung der Geschiebejahresfracht	59
4 Beurteilung der Berechnungen	61
5 Zusammenfassung	63
6 Schrifttum	63

1 Einleitung

Wenn man die seriöse Phase der Forschung auf dem Gebiet "Feststofftransport" 1936 mit SHIELDS beginnen läßt, der zweifellos der am häufigsten zitierte Autor in dieser "Branche" ist, muß man sich die Frage stellen:

Welchen Erkenntnisstand haben wir heute, 50 Jahre später, und welche Perfektion besitzen wir bei der Behandlung von Feststofftransportproblemen? Der "Branchenkenner" wird an die Beantwortung dieser Frage zweifellos mit großer Zurückhaltung herangehen und auch nur ganz vorsichtige Prognosen wagen. KENNEDY stellte 1971 auf dem IAHR Kongress in Paris als Generalberichterstatter fest, daß er zwar nur Bekanntes in neuer Verpackung entdeckt habe, aber vielleicht ergehe es ihm wie den Vätern, die eines Tages feststellen, daß ihre Söhne ihnen über den Kopf gewachsen sind. Er wollte damit ausdrücken, daß er vielleicht doch bei einem der Autoren eine Originalität übersehen habe. Inzwischen haben wir 1987, neue Namen sind aufgetaucht - vielleicht sollte man VAN RIJN nennen oder ZANKE -, es gibt neue Meßgeräte, man arbeitet interdisziplinär, aber man zitiert immer noch die Publikation von SHIELDS als den Prototyp einer wissenschaftlichen Arbeit bei der Erforschung des Feststofftransportes.

Offensichtlich ist man trotz der Computer und der mathematischen Modelle - die allerdings auch der grundlegenden physikalischen Zusammenhänge bedürfen, um "leben" zu können - noch nicht sehr viel weitergekommen. Hydraulische oder physikalische Modelle bedienen sich wenigstens noch des Wassers als fast unverfälschtem Naturprodukt im Maßstab 1 : 1. Diese Bemerkung soll jedoch keine Auf- oder Abwertung des einen oder des anderen Modelltyps sein, beide Modelle haben ihre Einsatzbereiche, nur sollte man nicht versuchen, mit mathematischen Modellen physikalische Probleme lösen zu wollen. Das geht nämlich beim Feststofftransport nicht!

Je länger man sich mit diesem Phänomen beschäftigt, desto skeptischer wird man, ob sich je eine physikalisch bis ins letzte Detail fundierte Lösung wird finden lassen. Die Faszination des Feststofftransportes läßt dabei jedoch keine Resignation zu, man denke dabei nur an den bis heute nimmermüden Anreiz, herauszufinden, weshalb die Riffel mit ihrem Reichtum an Varianten auftreten. Auch die Frage nach dem Bewegungsbeginn kohäsiver Gewässersohlen ist durch die hohe Belastung der Gewässer mit feinsten Partikeln sehr aktuell. Die Ausführung von Experimenten zum Erkennen physikalischer Zusammenhänge bedarf allerdings in diesem Fall eines außerordentlichen Enthusiasmus, der mit einer entsprechenden Hartnäckigkeit gepaart sein muß.

2 Allgemeine Bemerkungen zur Berechnung des Geschiebetransportes

Die Berechnung des Geschiebetriebes scheint innerhalb des Feststofftransportes bei flüchtigem Hinsehen noch eine relativ einfach zu lösende Aufgabe zu sein. Das transportierte Medium ist augenfällig, rollig und griffig im Gegensatz zu vielen feinen Materialien, die als Schwebstoffe transportiert werden. Man kann eine Geschiebeprobe durch Siebung analysieren und erhält dann eine Kornverteilungskurve. Das ist zweifellos befriedigend, wenn der Bereich der Korndurchmesser eines Sandes oder Kieses sich in überschaubaren Grenzen hält. Wenn allerdings die Fein- oder die Grobkornanteile besonders angesprochen werden müssen, wird es schon komplizierter.

Für die Berechnung des Geschiebetriebes benötigt man nämlich einen charakteristischen Korndurchmesser aus der Siebkurve. Dieses d_{ch} variiert je nach Autor der Geschiebetriebgleichung zwischen d_{50} und d_{65} , wobei der Letztere bei einigermaßen harmonischem Verlauf der Siebkurve etwa gleich dem mittleren Korndurchmesser ist.

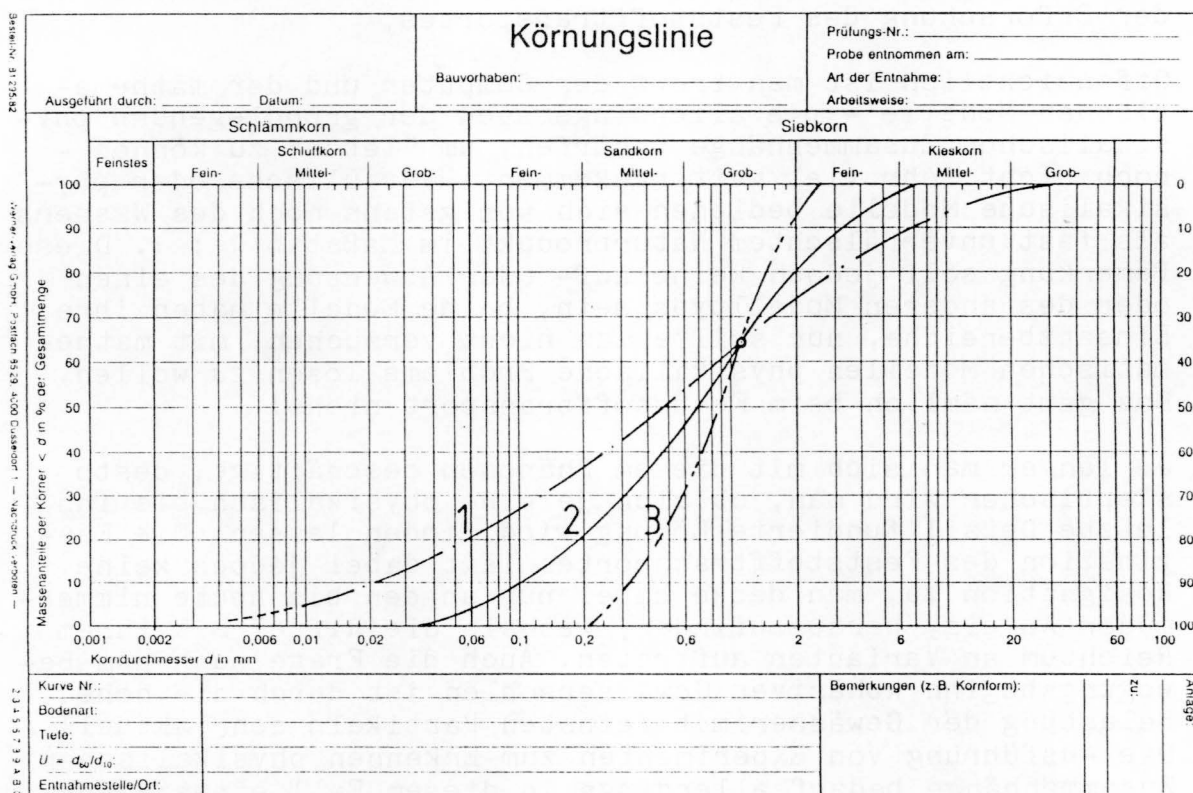


Bild 1 Körnungslinien mit identischem d_{65}

Die Problematik bei der Benutzung eines charakteristischen Korndurchmessers ist darin zu sehen, daß beliebig viele Siebkurven den selben d_{65} besitzen können. Es ist offensichtlich, daß die Kornverteilung 1 ein anderes Transportverhalten aufweisen wird, als die Kornverteilung 2 usw. (Bild 1).

Eine weitere Schwierigkeit liegt in der Beurteilung der Charakteristik eines Fließgewässers, wobei Grundriß, Längsschnitt und Querschnitt gemeint sind. Diese Merkmale sind sicher bei einem "etablierten" Strom, wie z.B. dem Rhein, relativ stabil, wenn man von einschneidenden Störungen durch den Menschen (z.B. Stauregelung) einmal absieht. Ganz anders jedoch liegen die Verhältnisse bei einem Fließgewässer, dessen Freiheitsgrade noch nicht beschränkt sind, d.h. das sich in der eigenen Alluvion abhängig von den hydrologischen Ereignissen "aus-toben" kann.

3 Beispiele

3.1 Rio Pilcomayo (Bolivien)

Dieses Beispiel zeigt, wie sich der Querschnitt an einer Feststoffmeßstelle innerhalb weniger Wochen signifikant ändert (Bild 2). Die Berechnung des Geschiebetransportes, d.h. die Bestimmung der aktiven Gerinnebreite, bedarf in derartigen Fällen besonderer Überlegungen bzw. Vereinfachungen und ist ohne begleitende Messungen des Geschiebetriebs kaum realisierbar (Bild 3). In diesem Fall erlaubten intensive Messungen mit verschiedenen Geräten vergleichende Betrachtungen der Ergebnisse.

Wenn man jedoch die Meßergebnisse in der dimensionslosen Abhängigkeit $G^* - Fr^*$ aufträgt, erkennt man, daß der Streubereich sehr groß ist und daß eine deutliche Zuordnung der Werte zu einer der Transportgleichungen nicht feststellbar ist (Bild 4).

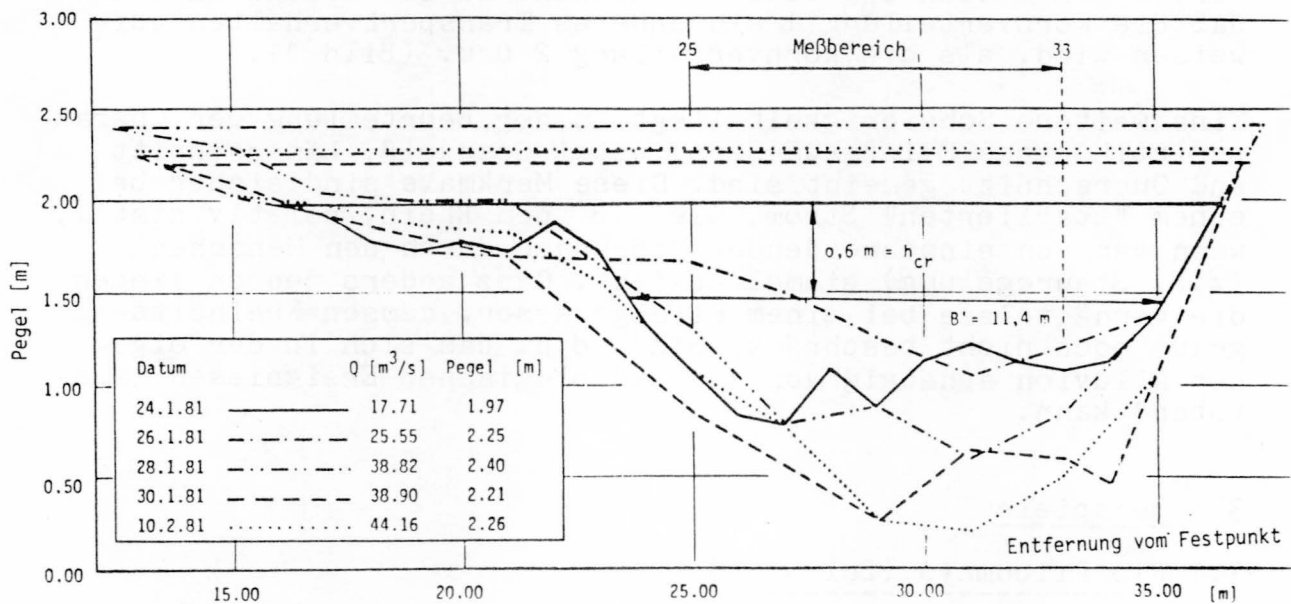


Bild 2 Veränderung des Fließquerschnitts bei Talula (von UW gesehen)

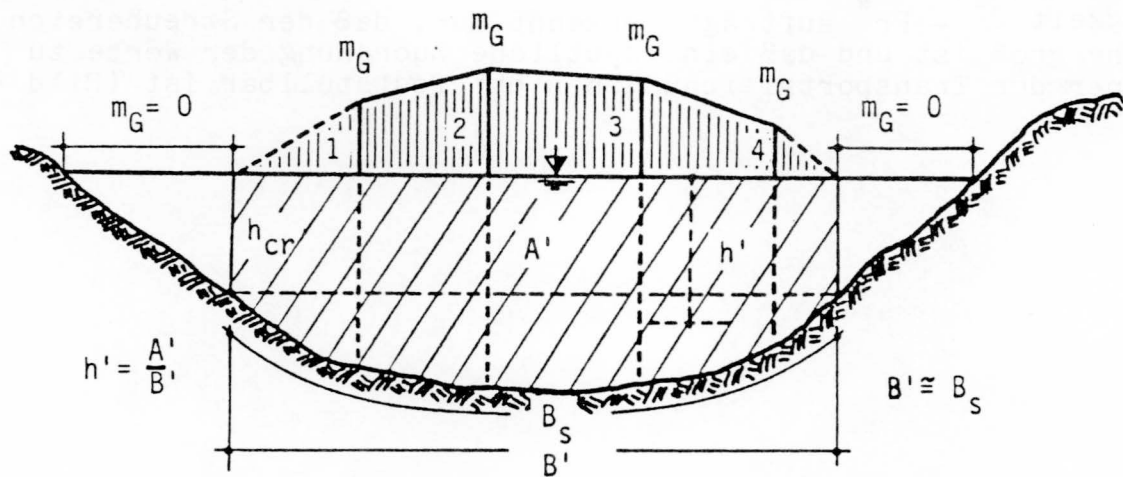


Bild 3 Bestimmung der geschiebetriebwirksamen Breite

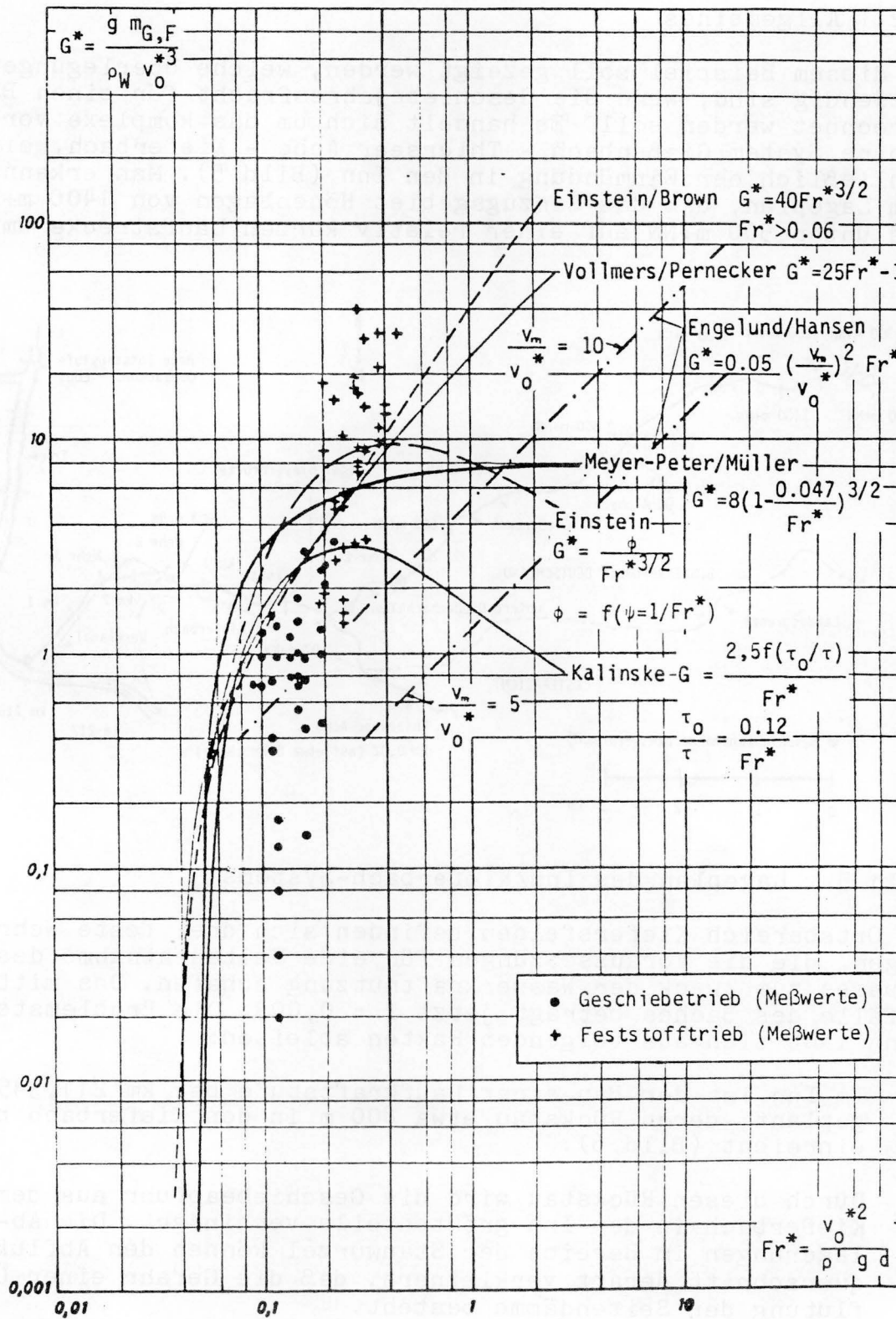


Bild 4 Meßwerte von Talula in der G^* - Fr^* -Darstellung

3.2 Kieferbach

3.2.1 Allgemeines

In diesem Beispiel soll gezeigt werden, welche Überlegungen notwendig sind, wenn die Geschiebejahresfracht für einen Bach berechnet werden soll. Es handelt sich um das komplexe vor-alpine System Gießenbach - Thierseer Ache - Kieferbach, einschließlich der Einmündung in den Inn (Bild 5). Man erkennt aus dem Lageplan, daß das Einzugsgebiet Höhenlagen von 1400 m+NN bis unter 500 m+NN auf einer relativ kurzen Laufstrecke umfaßt.

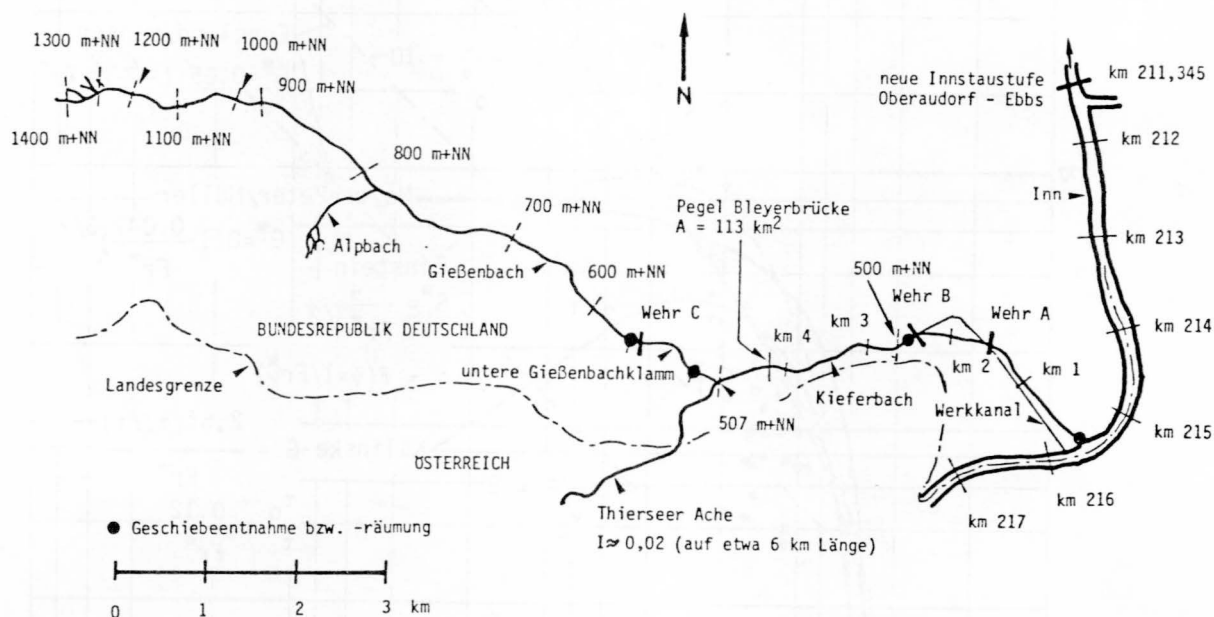


Bild 5 Lageplan des Inn/Kieferbach-Systems

Im Ortsbereich Kiefersfelden befinden sich drei feste Wehranlagen, die die Voraussetzungen für eine Seitenentnahme des Abflusses zum Zweck der Wasserkraftnutzung schaffen. Das mittlere Gefälle des Baches beträgt jetzt $I = 0,003$. Die Problemstellung läßt sich aus folgenden Fakten ableiten:

- Im Inn ist der Bau einer Laufkraftstufe bei km 211,345 geplant, deren Rückstau etwa 800 m in den Kieferbach hineinreicht (Bild 6).
- Durch diesen Rückstau wird die Geschiebeabfuhr aus dem Kieferbach in den Inn größtenteils verhindert. Die Ablagerungen im Bereich der Stauwurzel können den Abflußquerschnitt derart verkleinern, daß die Gefahr einer Überflutung der Seitendämme besteht.
- Mit einer räumbaren Geschiebefalle, die etwa eine Jahresfracht aufnehmen kann, soll die Freihaltung des Abflußquerschnittes gesichert werden.

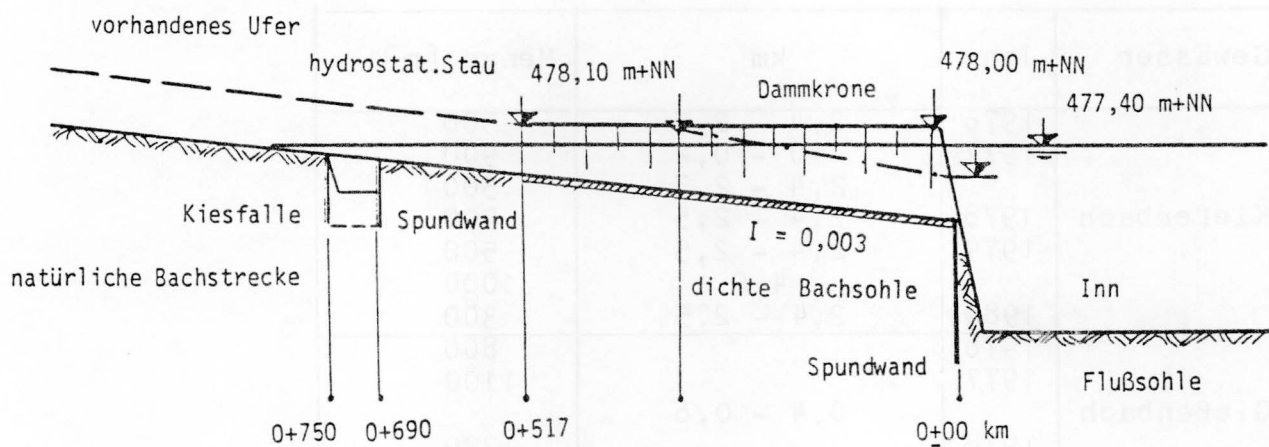


Bild 6 Längsschnitt der Mündungsstrecke des Kieferbaches (geplant)

Zur Lösung des Problems ist die Berechnung der Geschiebejahresfracht erforderlich. Naturmessungen über den Zusammenhang Abfluß - Feststofftransport waren nicht vorhanden.

3.2.2 Grundsätzliche Überlegungen

- Die hydrologischen Verhältnisse bilden die Basis für alle weiteren Betrachtungen. In diesem Fall stand für den Pegel Bleyerbrücke aus dem Gewässerkundlichen Jahrbuch Datenmaterial zur Verfügung. Für die Berechnung der Geschiebejahresfracht benötigt man die Abflußdauerlinie, der ein $\text{MHQ} = 42,7 \text{ m}^3/\text{s}$ aus der Jahresreihe 1951/77 zugeordnet wurde.
- Die morphologischen Verhältnisse werden im oberen Bereich durch die bereits erwähnten großen Gefälle des Gießenbaches mit ausgesprochenem Wildbachcharakter beschrieben. Die Verhältnisse in der Thierseer Ache (Österreich) sind zumindest auf den letzten Kilometern vor dem Zusammenfluß mit dem Gießbach ausgeglichener. Im Ortsbereich Kiefersfelden sorgen die festen Wehre A und B für eine Sohlstabilisierung, die Stauräume sind verlandet.

Aus dem System Gießenbach - Kieferbach - Kieferbachmündung/ Inn wird seit Jahren im Einvernehmen mit dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt Rosenheim von verschiedenen Nutzern Geschiebe entnommen. Die Entnahmestellen sind auf Bild 5 eingetragen, die dem WWA Rosenheim gemeldeten Volumina sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Tabelle 1 Zusammenstellung der entnommenen Kiesmengen

Gewässer	Jahr	km	Menge [m ³]
Kieferbach	1976	2,4 - 2,5	500
	1977	0 - 0,2	900
		2,4 - 2,5	500
	1978	2,4 - 2,5	500
	1979	2,4 - 2,5	500
		4,0	1000
	1980	2,4 - 2,5	300
Gießenbach	1976		800
	1977	0,4 - 0,6	1100
	1978		1200
	1980		1200
Alpbach	1979	0	2000
Inn	1972		1200
	1973		1800
	1974	215,4 - 215,5	2000
	1975		1800
	1976		1200
	1978		400

- c. Die Kornzusammensetzung des Geschiebes konnte im vorliegenden Fall nur überschläglich analysiert werden, da die Zeitvorgabe für die Stellungnahme sehr knapp bemessen war. Auf eine separate Ansprache, besonders der Grobanteile, wurde daher weitgehend verzichtet. Die Probenentnahmen beschränken sich auf den unteren Gießenbach, Kieferbach vor Wehr B und Kieferbach Mündung. Die Charakteristik der Kornverteilung ist zwar ähnlich (Bild 7), das Spektrum der Kornverteilung ist jedoch relativ groß. Es reicht von Feinsand mit geringen Schluffanteilen bis in den Bereich der Steine. Da bei einer Probenentnahme der Kornbereich >63 mm sehr subjektiv beurteilt werden muß, wurden bei den Körnungslinien 1 bis 3a die Anteile >63 mm weggelassen. Die Linie 3b soll nur exemplarisch zeigen, wie sich die Körnungslinie 3a bei Einbezug des Steinanteils nach rechts verschiebt. Als charakteristische Korngröße für die Berechnungen wurde jeweils der d_{65} gewählt (Bild 7).
- d. Es wurde bereits beim Beispiel des Rio Pilcomayo (Bolivien) darauf hingewiesen, daß die Berechnung des Geschiebetransportes immer dann schwierig ist, wenn Querschnitte, Sohlgefälle und Korncharakteristik stark variieren. Während für den Pilcomayo Messungen vorlagen, sind für den Kieferbach lediglich grobe Angaben der für Nutzzwecke entnommenen Kiesmengen sowie Annahmen für die Geschiebeführungen der Thierseer Ache und des Inns vorhanden. Es war daher erforderlich, verschiedene Vereinfachungen vorzunehmen.

Für den Kiefernabach wurde das in Bild 8 dargestellte Ausbauprofil für den Unterlauf mit $I = 0,003$ und $K_s = 40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ gewählt (Bild 8) und dafür die Abflußkurve und die Geschwindigkeitskurve berechnet.

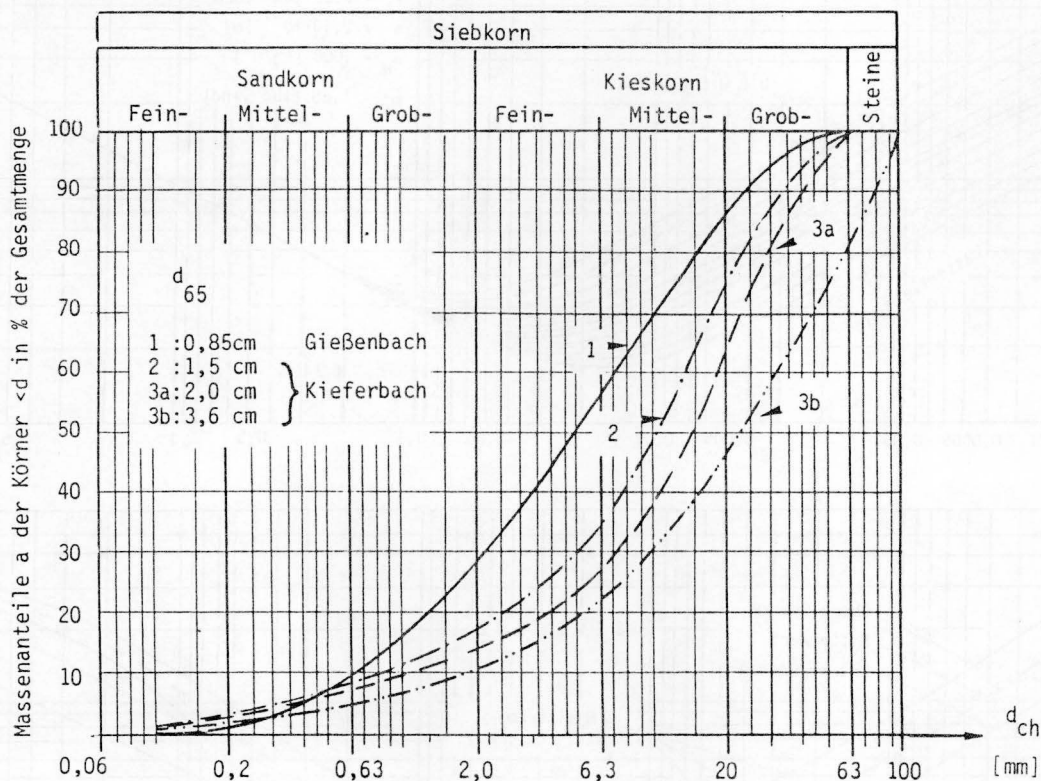


Bild 7 Körnungslinien von Sohlproben

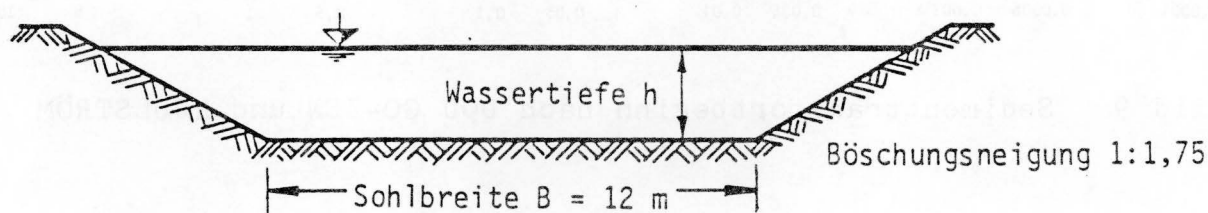


Bild 8 Regelquerschnitt des Kiefernabaches

3.2.3 Beginn des Geschiebetriebs

Für die Bestimmung des Geschiebetriebsbeginns wurden drei Beziehungen benutzt:

- | | | | | |
|----------------|----------------|---|---------------|--------|
| a. HJULSTRÖM | empirisch | } | $v-d_{ch}$ | Bild 9 |
| b. DOU GO-ZEN | | | | |
| c. MEYER-PETER | semi-empirisch | } | Schubspannung | |
| | | | | |

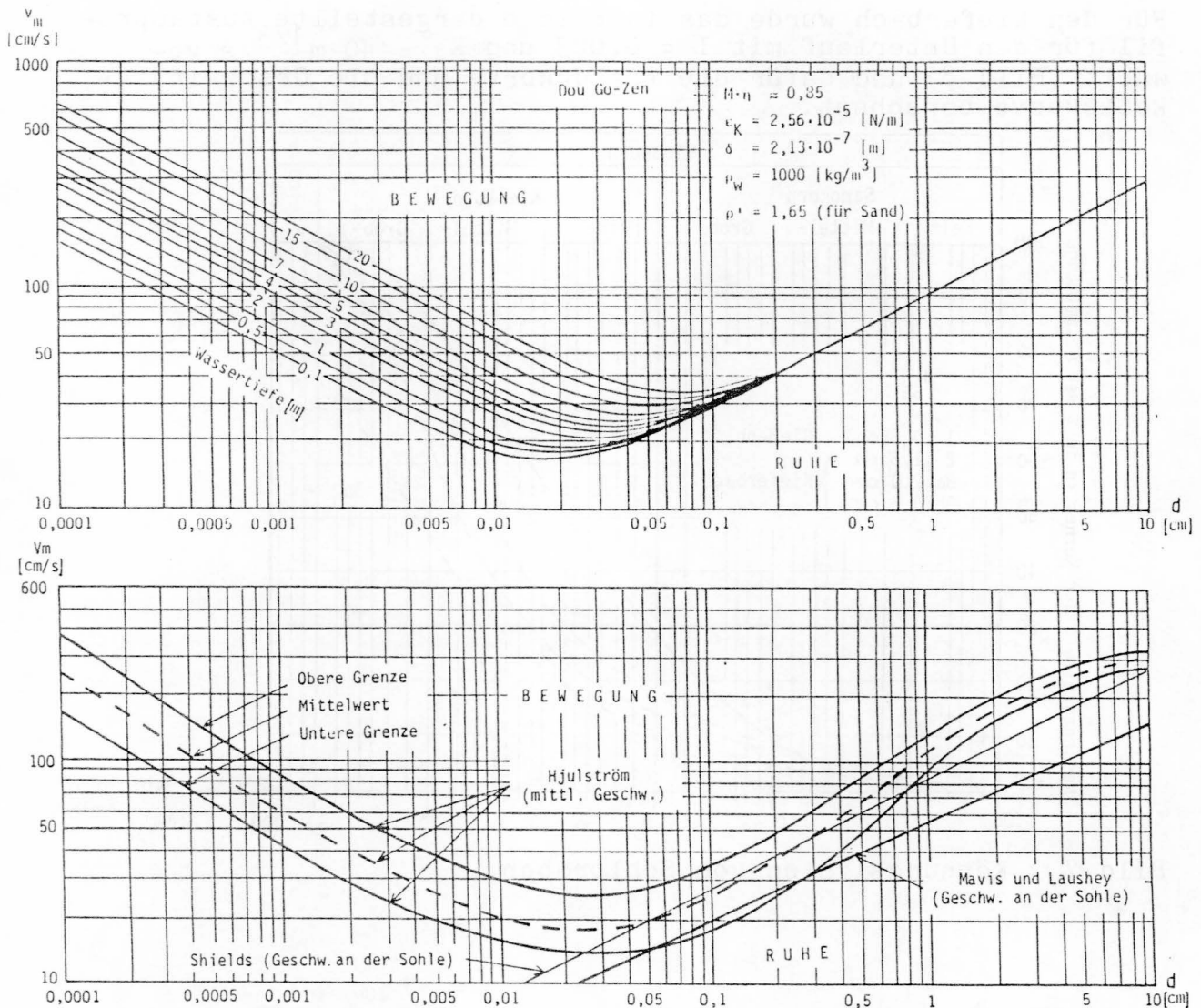


Bild 9 Sedimenttransportbeginn nach DOU GO-ZEN und HJULSTRÖM

Tabelle 2 Kennwerte für den Beginn des Sedimenttransportes

Autor	Fließgeschwindigkeit [cm/s]				Wassertiefen [cm]			
	$d_{65,1}$	$d_{65,2}$	$d_{65,3a}$	$d_{65,3b}$	$d_{65,1}$	$d_{65,2}$	$d_{65,3a}$	$d_{65,3b}$
HJULSTRÖM	95	140	170	220	30*	53*	77*	119*
DOU GO-ZEN	85	120	135	180	26*	43*	52*	85*
MEYER-PETER	78*	114*	135*	189*	22	39	52	93

* Die Werte wurden mit Hilfe der aus dem Regelprofil nach GAUCKLER-STRICKLER berechneten $v(h)$ Beziehung ermittelt.

Tabelle 2 enthält eine Zusammenstellung der kritischen Fließgeschwindigkeiten und der dazugehörigen Wassertiefen für die charakteristischen Korndurchmesser d_{65} . Dabei erfolgte die Ermittlung der Wassertiefe nach MEYER-PETER durch den Vergleich der aktuellen mit der kritischen Schubspannung nach dem vereinfachten Ansatz

$$h \cdot I \cdot \rho_W \cdot g - 0,047 \cdot \rho_W \rho' g \cdot d_{65} = 0$$

und Auflösung nach

$$h = \rho' \cdot 0,047 d_{65} / I \quad [\text{cm}]$$

und mit

$$I = 0,003$$

$$h = 25,85 \cdot d_{65}$$

Man erkennt, daß die Werte in Tabelle 2 sich "autorenabhängig" voneinander unterscheiden. Das ist bei der sehr subjektiven Beurteilung des Bewegungsbeginns nicht ungewöhnlich, zeigt aber gleichzeitig die Schwierigkeit bei der Auswahl einer geeigneten Beziehung.

3.2.4 Berechnung der Geschiebejahresfracht

Für die Berechnung der Geschiebejahresfracht wird die Formel von MEYER-PETER mit den dazugehörigen Werten für den Transportbeginn benutzt. Da die Zahlen von DOU GO-ZEN und MEYER-PETER deutlich kleiner als bei HJULSTRÖM sind, liegt man bei der Berechnung der Jahresfracht für den Kieferbach auf der sicheren Seite, d.h. man erhält die höheren "Frachtraten". Darüberhinaus wird in der MEYER-PETER Gleichung noch $R \approx h$ und $I_R \approx I_S$ gesetzt, was zu einer Vergrößerung der aktuellen Schubspannung führt.

Wenn man überschlägig nach HJULSTRÖM findet, daß sich Körner $> 6,3$ cm (Steine) erst bei Fließgeschwindigkeiten von ≈ 3 m/s in Bewegung setzen und man wieder aus einer groben Extrapolation der Abflußkurve dafür ein $Q \approx 80$ m³/s benötigt, erscheint es sinnvoll, für die Berechnung der Jahresfracht des Kieferbaches den d_{65} - Bereich zwischen 1,5 und 2,0 cm heranzuziehen.

Die vereinfachte Transportgleichung von MEYER-PETER lautet

$$m_G = (8/g) \cdot \sqrt{1/\rho_W} \cdot (h \cdot I \cdot \rho_W \cdot g - 0,047 \cdot \rho_W \rho' g \cdot d_{65})^{3/2}$$

$$\dot{m}_G = m_G \cdot B$$

$$m_G \text{ Geschiebetrieb} \quad [\text{kg/m.s}]$$

$$\dot{m}_G \text{ Geschiebetransport} \quad [\text{kg/s}]$$

Nach Einsetzen der Zahlenwerte wird der Geschiebetransport unter Berücksichtigung des Auftriebs

$$\dot{m}_G = 0,31 \cdot (29,43 \cdot h - 760,77 \cdot d_{65})^{3/2} \quad [\text{kg/s}]$$

Die Berechnung dieser Gleichung erfolgt tabellarisch für verschiedene Wassertiefen und Korndurchmesser (Tab. 3).

Tabelle 3 Berechnung des Geschiebetransportes

h	Q	\dot{m}_G [kg/s]	
		d = 0,015 m	d = 0,020 m
[m]	[m ³ /s]		
0,40	5,76	0,07	---
0,50	8,20	1,87	---
0,60	11,41	4,84	1,18
0,80	18,58	13,10	7,44
1,00	27,18	23,71	16,61
1,30	42,7	43,13	34,28

Auf Bild 10 sind die Geschiebemengendauerlinien und der zugehörige Abschnitt der Abflußdauerlinie aufgetragen. Die Integration der Flächen unter den Geschiebemengendauerlinien ergibt die zugehörige Geschiebejahresfracht m_{Gf} in kg oder t unter Auftrieb.

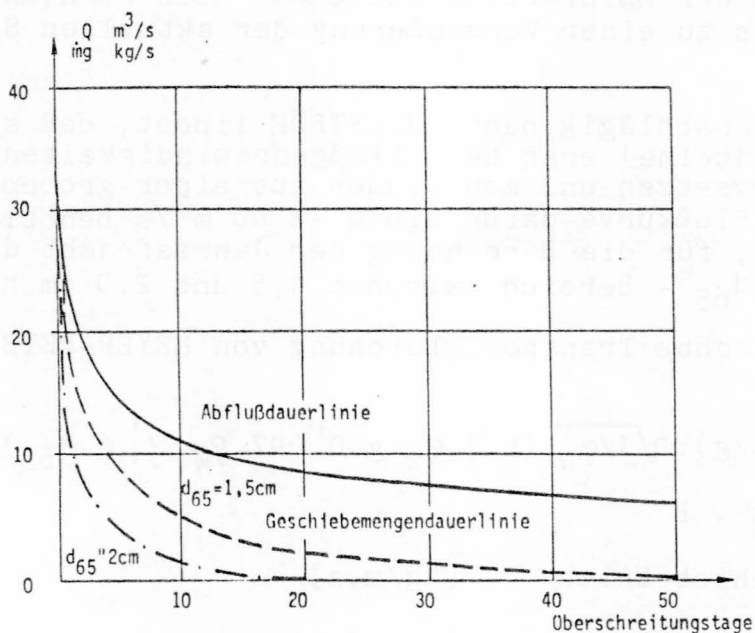


Bild 10 Abflußdauerlinie und Geschiebemengendauerlinien

Durch Multiplikation mit dem Verhältnis der Dichten $2,65/1,65 = 1,606$ erhält man die Trockenmasse. Nach Division durch die das Porenvolumen berücksichtigende Feststoffdichte ($\approx 1,8 \text{ t/m}^3$) ergibt sich die Jahresfracht in m^3 (Tab. 4).

Tabelle 4 Geschiebejahresfrachten

Kornlinie	$m_{Gf} [\text{t}]$		$m_{Gf} [\text{m}^3]$
	unter Wasser	trocken	
$d_{65,2} = 1,5 \text{ cm}$	15.358	24.666	13.703
$d_{65,3a} = 2,0 \text{ cm}$	5.759	9.249	5.138

4 Beurteilung der Berechnungen

Für die Entwicklung praktischer Vorschläge zur Vermeidung einer unkontrollierbaren Geschiebedeponie an der Stauwurzel im Kieferbach nach Errichtung der Staustufe Oberaudorf - Ebbs im Inn muß versucht werden, die gerechneten Jahresfrachten zu verifizieren. Dafür stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- Geschiebetriebmessungen
- Baggerungen oder Entnahme von Sohlmaterial
- Sonstige Hinweise

zu a. Geschiebetriebmessungen lagen weder für das Bachsystem "Thierseer Ache, Gießenbach und Kieferbach" noch für den Inn vor.

zu b. Nach Tab. 1 sind die Entnahmen aus dem Gießenbach und dem Kieferbach ziemlich regelmäßig erfolgt. Die globale Summierung und eine örtliche Aufschlüsselung ergeben folgende Werte:

1976 : 1.300	} im Mittel	Gießenbach (km 0,4)	860 m ³
1977 : 2.500		Kieferbach (km 2,4 und 4)	660 m ³
1978 : 1.700		Kieferbach (km 0)	180 m ³
1979 : 1.500			
1980 : 1.500			
1.700 m ³ /Jahr			

Danach bleibt offensichtlich ein größerer Teil des transportierten Geschiebes unmittelbar vor Wehr B und im unteren Gießenbach liegen.

Die Beurteilung der Herkunft der aus dem Inn entnommenen Kiesmengen mit einem Jahresmittel (1972/78) von rd. 1.630 m^3 ist

schwierig. Da die Kieferbachmündung an einer Innenkrümmung des Inns liegt und das Geschiebe sich allgemein dort bewegt bzw. sich ablagert, kann angenommen werden, daß es sich zum Teil um vom Inn selbst transportiertes Material handelt. Darauf deutet auch hin, daß sich oberstrom der Kieferbachmündung Sandbänke befinden. Es wird daher eine Verteilung von 1 : 1 (Inn/ Kieferbach) des dort entnommenen Materials angenommen. Damit würde sich die oben für den Kieferbach bei km 0 angegebene Entnahmerate auf rund 1.000 m^3 erhöhen, so daß sich ein mittlerer jährlicher Geschiebeentzug aus dem Kieferbach/Gießenbach Regime von etwa 2.500 m^3 ergibt. Bei einer maximalen angenommenen Geschiebejahresfracht von 7.000 m^3 würden demnach etwa 65 % in den Inn gelangen und dort weitertransportiert werden. Da diese Menge sehr hoch erscheint, liegt die geschätzte Jahresfracht für die Bemessung des Geschieberückhalteraaumes auf der sicheren Seite.

zu c. In einem Hinweis des "Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Tirol" wird vermutet, daß bei einem einstündigen $\text{MHQ} = 46,7 \text{ m}^3/\text{s}$ der Geschiebeanteil der Thierseer Ache an der Landesgrenze etwa 2 % des Abflusses beträgt; d.h. es werden $0,93 \text{ m}^3/\text{s}$ Geschiebe transportiert. Daraus kann man mit $\rho_G = 1,65 \text{ t/m}^3$ (unter Auftrieb) einen Geschiebetransport von $\dot{m}_G = 1.535 \text{ kg/s}$ berechnen. Nach einer Stunde beträgt die Fracht $m_{Gf} = 1.535 \times 3.600 = 5.524.200 \text{ kg} = 5.524 \text{ t}$ (unter Auftrieb). Daraus ergibt sich eine Trockenmasse von 8.872 t durch Multiplikation mit $2,65/1,65 = 1,606$. Das entspricht einem Volumen von $8.872/1,8 = 4.929 \text{ m}^3$ oder rund 70 % der angenommenen Jahresfracht von 7.000 m^3 im Kieferbach.

Wenn man in der Thierseer Ache den selben Querschnitt wie im Kieferbach annimmt und mit dem neuen Gefälle von $I = 0,02$ und $d_{ch} = 0,015 \text{ m}$ rechnet, ergibt sich für den Abfluß $Q \approx 47 \text{ m}^3/\text{s}$ bei einer Wassertiefe von $h = 0,8 \text{ m}$ nach MEYER-PETER ein Geschiebetransport von $\dot{m}_G = 540 \text{ kg/s}$, das sind etwa 35 % der obigen Schätzung. Der Anteil an der Jahresfracht beträgt dementsprechend nur 25 %.

Die Diskrepanz der Zahlenwerte zeigt deutlich die Schwierigkeit einer Berechnung des Geschiebetransportes, wenn keine Naturmessungen vorliegen.

Eine andere Abschätzung der Größenordnung der Geschiebejahresfracht läßt sich durch einen Vergleich der Einzugsgebiete des Inns und des Kieferbaches an den Pegeln Reisach und Bleyerbrücke anstellen. Die zugehörigen Flächen betragen 9.793 bzw. 113 km^2 . Das Verhältnis $113/9.793$ ist $0,0115$. Für den Inn wird nach den Kiesentnahmen aus der Stauhaltung Rosenheim (jetzt Nußdorf) die Geschiebejahresfracht mit etwa 130.000 m^3 angegeben. Die Jahresfracht für den Kieferbach würde danach $m_{Gf} \approx 1.500 \text{ m}^3$ betragen. Dieser Wert ist sicher zu niedrig, aber von der Größenordnung ebenfalls passend.

Mit der Einschränkung, daß bei der Berechnung von Feststofftransportprozessen nicht nur "autorenabhängige" Abweichungen der Ergebnisse zwischen 100 und 200 % möglich sind, ist es besonders schwierig, ohne Naturmessungen derartige Berechnungen für Fließgewässer mit inhomogenen Parametern auszuführen. Im vorliegenden Fall war es nur mit groben Annahmen möglich, den Bereich der Größenordnung der Geschiebejahresfracht abzugrenzen. Daraus konnten dann konstruktive Maßnahmen für die zweckmäßige Anordnung von Geschieberückhaltebecken im Ortsbereich Kiefersfelden entwickelt werden. Da jedoch die gesamte Jahresfracht zurückgehalten werden muß, wurde bei den Berechnungen darauf geachtet, im sicheren Bereich (große Frachtraten) zu liegen.

5 Zusammenfassung

Die Zahl der wissenschaftlichen Publikationen über die Zusammenhänge zwischen dem transportierenden und dem transportierten Medium im Bereich des Feststofftransportes nimmt stetig zu, manche dimensionslosen Kennzahlen werden immer wieder neu entdeckt - die Lösung praktischer Fragestellungen bereitet jedoch nach wie vor Schwierigkeiten und setzt Erfahrungen und Einfühlungsvermögen in das Eigenleben eines Fließgewässers voraus. Es bleibt nicht immer die Zeit zur Vorbereitung und Ausführung wasserbaulicher Modellversuche mit beweglicher Sohle. Oft genug muß man aus wenigen Fakten die richtigen Schlüsse ziehen, in der Hoffnung, daß die Natur letztlich keine Überraschungen anbietet. Aber wie anfangs gesagt wurde, die Faszination dieses Themas bleibt nicht nur bei den Experimenten im Labor, sondern auch bei der Tätigkeit "vor Ort" erhalten.

6 Schrifttum

- VOLLMERS, H.-J.: Situation des Kieferbaches vor und nach Bau der Staustufe Oberaudorf/Ebbs (unveröffentlichter Bericht), 1982
- VOLLMERS, H.-J.;
PALENQUE, G.: Sedimenttransportmessungen im Rio Pilcomayo in Bolivien, Mitt. Inst. Wasserwesen, UniBw München, (1983), Nr. 8.

